

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-179434

(43)Date of publication of application : 26.06.2002

(51)Int.Cl. C03B 37/012
602B 6/00

(21)Application number : 2000-374081

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 08.12.2000

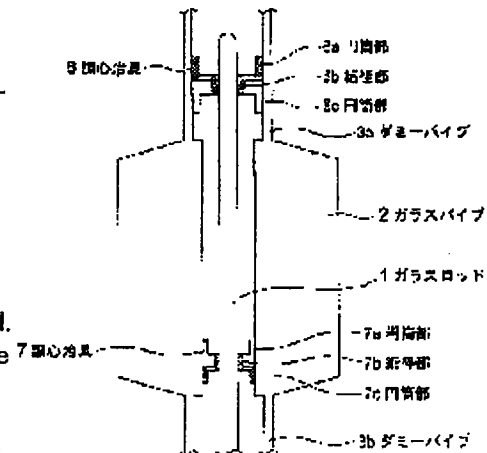
(72)Inventor : HIRANO MASAOKI
ONISHI MASASHI
IJIRI HIDEYUKI

(54) METHOD FOR MANUFACTURING OPTICAL FIBER PREFORM, OPTICAL FIBER PREFORM AND OPTICAL FIBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for manufacturing an optical fiber preform with a large diameter while decreasing deviation or non-circularity degree of the core by a rod-in-collapse method, to provide an optical fiber preform having a preferable non-circularity degree and a complicated structure of the refractive index even when the preform has a large diameter, and to provide an optical fiber which can be used as a dispersion compensated fiber.

SOLUTION: The rod-in-collapse process is carried out by fixing a glass rod in a glass pipe (or in a dummy pipe attached to the end of the pipe) by using an aligning tool. The rod is fixed by the tool at one end or both ends. The aligning tool is in a cylindrical form or a cylindrical form having one or more parts with decreased diameters. When the rod is fixed at one end, the process of heating and integrating is preferably carried out from the other end. A complicated structure can be obtained by using the core rod and the glass pipe having distribution of refractive indices.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-179434

(P2002-179434A)

(43) 公開日 平成14年6月26日 (2002. 6. 26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
C 0 3 B 37/012		C 0 3 B 37/012	A 4 G 0 2 1
G 0 2 B 6/00	3 5 6	G 0 2 B 6/00	3 5 6 A

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-374081(P2000-374081)

(22) 出願日 平成12年12月8日 (2000. 12. 8)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(72) 発明者 平野 正晃

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(72) 発明者 大西 正志

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電

気工業株式会社横浜製作所内

(74) 代理人 100072844

弁理士 萩原 亮一 (外2名)

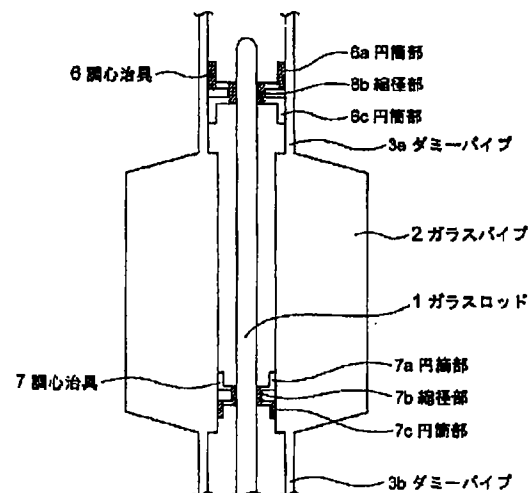
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ母材製造方法及び光ファイバ母材並びに光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 ロッドインコラプス法において偏心やコアの非円化率を低減して太径の光ファイバ母材を製造できる方法、また太径でも非円率が良好で複雑な屈折率構造を有する光ファイバ母材及び分散補償ファイバとして適用できる光ファイバの提供。

【解決手段】 ガラスロッドを調心治具を介してガラスパイプ（または端部に取り付けたダミーパイプ）中に固定してロッドインコラプス工程を行なう。調心治具を介しての固定は一端または両端で行い、該治具の形状は円筒形状、1以上の縮径部を有する円筒形状等であり、一端で固定の場合、加熱一体化工程は反対の端部側から行なうことが好ましい。コアロッド、ガラスパイプに屈折率分布を有するものを用いることにより、複雑な構造を実現できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ガラスロッドをガラスパイプ内に挿入して加熱一体化するロッドインコラプス工程を少なくとも含む光ファイバの製造方法において、前記ロッドインコラプス工程は前記ガラスロッドを前記ガラスパイプ又は前記ガラスパイプの端部に接続したダミーガラスパイプ中に固定した調心治具を介して固定して行なうことを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

【請求項2】 前記調心治具が固定部と調心部を有するものであることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項3】 前記加熱一体化においてガラスパイプの中心軸が鉛直方向に保持されることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項4】 前記加熱一体化の温度において、挿入するガラスロッドの粘性率が前記ガラスパイプの粘性率よりも小さいことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項5】 前記ガラスパイプ内に調心治具を固定し、前記ガラスロッドをガラスパイプ内に挿入し、該ガラスロッドを調心治具に固定することを特徴とする請求項1ないし4のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項6】 前記ガラスパイプ、前記調心治具及び前記ガラスロッドを回転させつつ加熱一体化することを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項7】 前記ガラスロッドが固定された側とは反対側の端部付近から加熱一体化を開始し、固定端に向かって加熱一体化してゆくことを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項8】 前記ガラスパイプの中心軸を鉛直方向としたとき、固定端が上側、加熱一体化開始端が下側であるように配置して行なうことを特徴とする請求項1ないし7のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項9】 加熱一体化される直前の前記ガラスロッドと前記ガラスパイプの空隙が、0.1mm以上3mm以下であることを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項10】 前記ガラスロッドが屈折率分布を有するものであることを特徴とする請求項1ないし9のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項11】 前記ガラスパイプが屈折率分布を有するものであることを特徴とする請求項1ないし10のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項12】 前記ロッドインコラプス工程によりえられるガラスロッドの外部にガラス層を形成して光ファイバ母材とする工程を有することを特徴とする請求項1ないし11のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【請求項13】 前記請求項1ないし12のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られたものであることを特徴とする光ファイバ母材。

【請求項14】 前記請求項1ないし12のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られたものであり、コア非円率が1.5%以下であることを特徴とする光ファイバ母材。

【請求項15】 前記請求項1ないし12のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られた光ファイバ母材をブリフォームとして、又は該光ファイバ母材を中間体として得られたガラスロッドをブリフォームとして、線引することにより得られたことを特徴とする光ファイバ。

【請求項16】 前記請求項1ないし13のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られた光ファイバ母材または請求項14に記載の光ファイバ母材をブリフォームとして、又は該光ファイバ母材を中間体として得られたガラスロッドをブリフォームとして、線引することにより得られ、PMDが $0.15\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下であることを特徴とする請求項13に記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はロッドインコラプス法による光ファイバ母材製造方法及びに光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ母材（ブリフォーム）の製造方法としてロッドインコラプス法（ロッドインチューブ法）が知られており、これは少なくともコア部を有するガラスをロッド状に成形し、一方クラッドとなるガラスは肉厚のガラスパイプに成形し、該ロッドを該ガラスパイプに挿入した後、加熱しながら減圧にしてロッドとガラスパイプを加熱融着させてコア及びクラッドを有する光ファイバ母材とする方法である。得られたコラプス体をブリフォーム中間体として、その外周部にVAD法やOVD法等の気相合成法、或いは更なるロッドインチューブ法により、更にクラッド部を合成し、大型のブリフォームとしてもよい。この方法では図15の(A)に示すように、クラッド等を形成するためのガラスパイプ2にダミーパイプ3a、3bを接続して、図示は省略したコラプスを行なう抵抗炉、高周波炉中や酸素素火炎等の熱源近傍に、中心軸が鉛直方向となるよう（縦形）にセットし、ガラスパイプ2内面をエッチングして平滑化するとともに不純物を除去した後、少なくともコア部を有するガラスロッド（以下、単にガラスロッドと略記する場合もある）1をダミー棒4で押し上げる形で挿入する。ガラスロッド1を挿入後、塩素ガス雰囲気中等で空焼きを行い、乾燥及び不純物を除去した後、ガラスパイプ2の上部又は下部からコラプスしてゆき、光ファイバ

母材としている。この方法では図15の(A)に示すようにガラスロッド11が傾いた状態でコラプスする可能性が大きく、加熱により柔らかくなった部分に重力が加わり図15の(B)に示すように変形するため、得られる光ファイバ母材のコアの偏心と変形を生じやすいという問題がある。

【0003】また図16の(A)に示すようにガラスロッド1を水平方向(横形)に配置する場合も、従来法ではガラスパイプ2の両端にダミーパイプ3a、3bを接続し、このダミーパイプ3a、3bの一部に縮径部5a、5bを形成しておき、ここに図のようにガラスパイプ2及びダミーパイプ3a、3b中にガラスロッド1を挿入貫通して片側のダミーパイプ3bの縮径部5bにガラスロッド1を融着固定し、固定した側とは反対のダミーパイプ3a側からコラプスしてゆく。この場合も、特にガラスパイプ2の外径が4.5mmφ以上になると加熱量が多くなってしまう為に、図16の(B)に示すように、加熱によりガラスロッド1が柔らかくなるとガラスロッド1が動き、加熱された部分が変形してしまうので、得られる光ファイバ母材には縦形の場合と同様の問題がある。

【0004】近年、光ファイバの1つとして1.3μmの波長帯に零分散を持つ光ファイバを用いて1.55μmの波長帯で光通信を行なう場合に生じる分散を補償するための分散補償ファイバが開発されている。1.3μm波長帯零分散ファイバは、1.55μmの波長帯で大きな正の分散を生じるので、この分散を補償するため、分散補償ファイバは1.55μmの波長帯で前記分散とは逆の負の大きな分散を有することが必要である。そのため分散補償ファイバは、ドーパントの添加によりコア／クラッドの比屈折率差Δを大きくし(通常、1.3μm伝送用の最も一般的なシングルモードファイバでは0.35%程度であるが、分散補償ファイバでは1.0~3.0%程度)、かつコア径を小さく(通常、シングルモードファイバでは8~10μm程度であるが、分散補償ファイバでは2~6μm程度)した構造となっている。

【0005】分散補償ファイバは、高屈折率のコアを使用するため偏波分散(PMD)が生じやすく、また、コアにドーパするGeO₂の影響によりコア部のガラスが低粘度となるので非円化が起りやすくなっている。コアの非円率とは、コアをほぼ楕円とみなしたときに数1の式で表されるものであり、非円率の値が小さいほど真円に近い。

【数1】非円率=(長軸の長さ-短軸の長さ)/長軸の長さ×100(%)

PMDはコア非円率に比例して大きくなってしまいが、特に前記比屈折率差Δが高い程、コアの非円化がPMDの劣化に与える影響が大きくなることが知られている。従って、比屈折率差Δの高い分散補償ファイバは非円率

を小さくする必要がある。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】分散補償ファイバは、例えば1波あたり10G/S以上のWDMシステム(波長の異なる複数の信号光を入射し、従来の複数倍の情報を伝送するシステム)に適用するため良好な偏波分散特性が要求されており、コアの非円化を防止することが必要である。しかしながら、前記のような構造の分散補償ファイバでは、ロッドインコラプスを実施する場合、熱によりドーパントを多量に含むガラスロッドが変形しやすく、また、大型の光ファイバ母材を得るためにガラスパイプの肉厚を厚くすると、従来のコラプス法では加熱一体化工程での熱量が多くなり、コアが変形、楕円化して非円率が悪化し、良好な偏波分散特性が得にくいという問題があった。ロッドインコラプス法により大型母材を製造しようとして、太径のガラスパイプを使用する場合は、より困難であった。

【0007】本発明は上記の現状に鑑み、ロッドインコラプス法によりコア非円率を低減し、従来法によるよりも真円に近い光ファイバ母材を製造できる方法、及び非円率が低減された光ファイバ母材及び光ファイバを課題とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は次の(1)~(16)の構成を採用することにより上記課題を解決する。

(1) ガラスロッドをガラスパイプ内に挿入して加熱一体化するロッドインコラプス工程を少なくとも含む光ファイバの製造方法において、前記ロッドインコラプス工程は前記ガラスロッドを前記ガラスパイプ又は前記ガラスパイプの端部に接続したダミーパイプ中に固定した調心治具を介して固定して行なうことを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

(2) 前記調心治具が固定部と調心部を有するものであることを特徴とする前記(1)記載の光ファイバ母材の製造方法。

(3) 前記加熱一体化においてガラスパイプの中心軸が鉛直方向に保持されることを特徴とする前記(1)または

(2)に記載の光ファイバ母材の製造方法。

(4) 前記加熱一体化の温度において、挿入するガラスロッドの粘性率が前記ガラスパイプの粘性率よりも小さいことを特徴とする前記(1)ないし(3)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(5) 前記ガラスパイプ内に調心治具を固定し、前記ガラスロッドをガラスパイプ内に挿入し、該ガラスロッドを調心治具に固定することを特徴とする前記(1)ないし(4)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(6) 前記ガラスパイプ、前記調心治具及び前記ガラスロッドを回転させつつ加熱一体化することを特徴とする前記(1)ないし(5)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(7) 前記ガラスロッドが固定された側とは反対側の端部付近から加熱一体化を開始し、固定端に向かって加熱一体化してゆくことを特徴とする前記(1)ないし(6)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(8) 前記ガラスパイプの中心軸を鉛直方向としたとき、固定端が上側、加熱一体化開始端が下側であるように配置して行なうことを特徴とする前記(1)ないし(7)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(9) 加熱一体化される直前の前記ガラスロッドと前記ガラスパイプの空隙が、0.1mm以上3mm以下であることを特徴とする前記(1)ないし(8)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(10) 前記ガラスロッドが屈折率分布を有するものであることを特徴とする前記(1)ないし(9)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(11) 前記ガラスパイプが屈折率分布を有するものであることを特徴とする前記(1)ないし(10)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

(12) 前記ロッドインコラプス工程によりえられるガラスロッドの外部にガラス層を形成して光ファイバ母材とする工程を有することを特徴とする前記(1)ないし(11)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法。

【0009】(13) 前記(1)ないし(12)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法より得られたものであることを特徴とする光ファイバ母材。

(14) 前記(1)ないし(12)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られたものであり、コア非円率が1.5%以下であることを特徴とする光ファイバ母材。

【0010】(15) 前記(1)ないし(12)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られた光ファイバ母材をプリフォームとして、又は該光ファイバ母材を中間体として得られたガラスロッドをプリフォームとして、線引することにより得られたことを特徴とする光ファイバ。

(16) 前記(1)ないし(12)のいずれかに記載の光ファイバ母材の製造方法により得られた光ファイバ母材または前記(14)に記載の光ファイバ母材をプリフォームとして、又は該光ファイバ母材を中間体として得られたガラスロッドをプリフォームとして、線引することにより得られ、PMDが $0.15 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下であることを特徴とする請求項13に記載の光ファイバ。

【0011】

【発明の実施の形態】本発明は、ロッドインコラプスの際、コアを含むガラスロッドが加熱時の引き伸びや溶融によって移動しないように、調心機能を有する治具を介してガラスロッドをダミーパイプに融着等により固定することにより、加熱時の変形、楕円化を抑制し、肉厚あるいは太径のガラスパイプを用いても、コアの非円率が小さく、PMD特性の劣化のない光ファイバ母材及び光

ファイバを製造できるものである。

【0012】以下、図1により本発明を具体的に説明するが、図1において、図15、図16と同一部分については同一符号を付し、説明を省略する。まず、ロッドインコラプス法に付すコアロッド又は少なくともコアを有するガラスロッド（以下ガラスロッドと総称する）1とクラッド等を形成するためのガラスパイプ2は、各々公知技術に従い準備する。例えば、VAD法などにより合成され、所定のガラス組成、屈折率又は屈折率分布を有する石英ガラス系のコア用多孔質母材を脱水、透明化し、要すれば延伸工程に付し、所定の外径を有するガラスロッドを作成する。ロッドインコラプス工程の前処理として、このガラスロッドの外周を研磨して真円に加工したり、表面層をHFで洗浄して清浄化するなどの処理を施しても良い。ガラスパイプ2は、例えばVAD法、OVD法等により或いはゾルゲル法やガラス微粒子を成形する方法等により、石英ガラス又は屈折率調整剤をドーブした石英ガラスからなる多孔質母材を合成し、焼結、透明ガラス化したものをパイプ形状に加工する。ガラスパイプ2に接続するダミーパイプ3a、3bも公知技術により用意しておく。図1の場合は用いていないが、要すれば、ガラスロッド1に接続するダミーロッドも同様に用意する。

【0013】図2は本発明の調心治具の一例を示す図であって、本例の調心治具6はガラスパイプ及び/又はダミーパイプ内に挿嵌可能な外径で、かつガラスロッドの少なくとも端部を挿入可能な内径を有する円筒が略中央部分においてその外径を縮小した形状であって、上部と下部の各円筒部6a、6cの中間に、内径がガラスロッドの外径より若干大きい程度（融着前に挿嵌できる程度のクリアランス）であり外径が各円筒部6a、6cより縮小している縮径部6bを有している。調心治具6の材質としては、ガラスロッド、ガラスパイプと融着固定するため、石英系ガラスを用いることが好ましい。

【0014】本発明のロッドインコラプス工程は次のように行なう。①上下端部にダミーパイプ3a及び3bを接続したガラスパイプ2を準備する。②図1に示すように縮径部6b、7bを設けることにより中央部が括れた円筒形状とした調心治具6をガラスパイプ2、ダミーパイプ3a又は3bの片端に挿入する。③別途用意しておいたガラスロッド1をガラスパイプ2及び/又は調心治具6内に挿入する。④逆端に設ける調心治具7をガラスパイプ2、ダミーパイプ3a又は3b内に挿入する。⑤調心治具6、7をダミーパイプ3a、3b又はガラスパイプ2に固定する。⑥前記ガラスロッド1を調心治具に固定する。固定手段としては、例えば図1においては図示を省略した外部加熱源による加熱融着による。なお、図1ではガラスロッド1の上端部を調心治具6を介してダミーパイプ3に固定し、同下端部は調心治具7を介してガラスパイプ2に固定している。なお、図中斜線で示

した部分は固定されていることを意味する。以下の図2～図9においても同様である。

【0015】このとき、ガラスロッド1とガラスパイプ2の各中心軸がほぼ一致するように、できるだけ合わせることが、偏心及び非円化を防ぐ点で好ましい。該各中心軸が一致していないと、図17の(A)に示すように加工量大きい部分と小さい部分とができるため、コラプスして得られるガラス体(コラプス体)の周方向断面は図17の(B)に示すようにコアが偏心して非円率が高くなるからである。

【0016】このようにした後に、ガラスロッド1とガラスパイプ2を火炎、電気炉、高周波プラズマ等の加熱手段により加熱一体化して偏心がなく非円率の低減したコラプス体を得る。加熱手段の温度分布はガラスロッド1、ガラスパイプ2の周方向に均一であることが望ましく、この目的のためにガラスロッド1、ガラスパイプ2(ダミーパイプを含む)を回転させて加熱することが好ましい。温度分布が周方向に均一でないと偏心し、非円率が大きくなる。

【0017】図1では調心治具6、7を介して両端で融着固定する例を示したが、本発明において調心治具を介してのガラスロッドとガラスパイプの融着固定は少なくとも一端で行えば良い。図3に示すように、上端では調心治具6を介して図1の場合と同様に融着固定し、下端ではガラスロッド1の下部に支持棒8を設けて片端のみ固定し、突っかえとしても良い。このように一端のみで固定の場合には、図4の(A)に示すように固定して端とは逆の端からコラプスを開始し、ガラスパイプ2及びガラスロッド1、又は熱源9を移動させて、固定端に向かってコラプスすれば、前記の両端が融着固定されている場合と同様の効果が得られる。

【0018】両端での融着固定であれ、片端だけの融着固定であれ、縦型(鉛直配置)の場合には、図4の(A)、(B)に示すように下から上方向にコラプスすることが好ましい。上から下方向にコラプスすると、図5の(A)に示すように加熱部に重力が加わり、引き伸びようとするが、逆端は固定されているので図5の

(B)に示すように曲がってしまう。また、固定しないと、図5の(C)に示すように引き伸びでコラプス後の倍率変動してしまう。一方、図4の(A)、(B)に示すように下から上方向へのコラプスであれば、加熱領域の直ぐ下がコラプスされている部位であるため、引き伸びは発生せず、コア非円率が良好である。

【0019】以上の説明ではガラスロッドが調心治具の円筒部6aに達して融着固定している例を示したが、図6に示すように縮径部6cの位置にガラスロッドの端部が配置されるように融着固定することもできる。

【0020】本発明の図1の例では調心治具6として縮径部が1カ所のものを用いているが、調心治具とガラスロッドを加熱して一体化する場合に、図7の(A)に示

すように融着のための加熱によりガラスロッドが変形した状態で調心治具と一体化してガラスロッドが曲がってしまうと、ガラスロッドの中心軸とガラスパイプの中心軸がずれてしまい、調心治具がその役割を果たせなくなる。このような問題は、特にガラスロッドの粘性が低い場合に起きる危険性がある。

【0021】前記の危険性を回避する手段として、図7の(B)に示すように調心治具11の縮径部11bを2カ所以上設け、最も端側の縮径部11b₁で融着一体化することが挙げられる。最も端の縮径部11b₁を固定部として融着してガラスロッドが変形したとしても、次の縮径部11b₂が調心部として調心の役割を果たすことができるため、非常に好適である。

【0022】本発明の調心治具はガラスパイプ(及び/又はダミーパイプ)とガラスロッドの間に介在して両者をそれぞれ融着固定できるものであれば任意の形状を採用できる。上記では1以上の縮径部を有する円筒形状の例を示したが、例えば図8の(A)に示すように単なる円筒形状であってもよく、この場合にも融着固定は片端又は両端で行なう。図8の円筒状の調心治具12の中心軸方向長さをL₁とすると、図8の(B)に示すようにL₁が加熱一体化の際の熱源のヒートゾーン長さL₂よりも十分に長くなるような調心治具12を用いると、加熱されていない部分(非加熱部分)が調心部として作用するので好結果を得られる。

【0023】図9は本発明において端部にテーパを有するガラスロッドの場合の、調心治具とガラスパイプの融着固定の例を示すものであり、図9の(A)は調心治具13の縮径部13bにおいてガラスロッド1のテーパ部を融着固定し、円筒部13aでダミーパイプ3と融着固定した例である。同図の(B)は外形が円筒状で内壁面にテーパを設けた調心治具14の斜視図であり、同図の(C)に示すようにテーパを有するガラスロッド1に嵌挿して斜線で示す部分を融着固定している。これらの調心治具13、14は1端のみにつけても両端につけても良いし、また固定も片側、両端のいずれでも良いことは既に説明のとおりである。

【0024】以上のようにして本発明の方法に従い得られたコラプス体のコアは、後記実施例1に具体的に示されるように、従来法により固定せずにコラプスしたものに比較して非円率が低い、すなわち真円に近いものが得られる。本発明によるコラプス体において特に好ましいものとして、非円率が1.5%以下のものが挙げられ、このようなコラプス体から得られる光ファイバは次に説明するようにPMDが非常に良好である。

【0025】本発明者らが実験により求めたコア非円率(%)とPMD(p s/√km)の関係を図13のグラフに示す。図14に示すように中心コア部がGeO₂-SiO₂、第一クラッド部がF-SiO₂、第二クラッドがSiO₂からなり、第二クラッドに対する中心コアの比

屈折率差 Δ が1.5%、第一クラッドの比屈折率差 Δ' が0.45%のガラス母材を線引きし、中心コア径 $5\mu\text{m}$ 、第一クラッド径 $1.5\mu\text{m}$ 、波長 1550nm での特性が、分散： -47ps/km/nm 、分散スロープ： -0.08ps/km/nm^2 、 $A_{\text{eff}}:20\mu\text{m}^2$ 、カットオフ波長： 750nm 、伝送損失： 0.27dB/km であり、コア非円率は約0.04~4%の範囲で種々に異なった光ファイバとした。得られた各光ファイバのコア非円率(%)とPMD($\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$)は図13に示すとおりであった。図13において●印は、例えば特開平6-171970、特開平9-243833各号公報に提案される揺動線引きをした光ファイバ、×印は揺動せずに線引きした光ファイバを意味する。図13に示されるように、PMDが大容量伝送に好適な $0.15\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$ 以下となるのは、コア非円率が1.5%以下の場合である。また、揺動線引きしたものの方がPMDが小さい。

【0026】ここで揺動線引きとは、線引時に光ファイバを回転軸が周期的に揺動するガイドラでガイドすることにより光ファイバに所定のねじりを付与する線引き方法であり、線引き時にガラス軟化部を強制的にねじることによって、偏波間の結合が発生する。その際、偏波分散による入力パルスの広がり、揺動を実施せず偏波間の結合が生じない場合と比較して、数2

【数2】

$$\frac{1}{L} \ln \frac{h}{L}$$

となる。ここで、 L は光ファイバ長(m)、 h はファイバ長1m当たりの回転数($1/\text{m}$)である。従って、 h が大きいくほどPMDは小さくなる。

【0027】本発明によるロッドインコラプス法は光ファイバプリフォーム中間体を作成する一工程として利用すればよく、その他の工程についてはこの種技術分野における公知技術を適用して、光ファイバ中間体、光ファイバ母材(プリフォーム)とし、さらに線引して光ファイバを得ることができる。すなわち、本発明に係る前記コラプス体をそのまま光ファイバ母材として公知の方法で線引用プリフォームとして線引して光ファイバとしてもよいし、公知のスート法、ロッドインチューブ法、ゾルゲル法等でコラプス体に更にジャケット付けしたものを線引用プリフォームとし、光ファイバとしても良い。後者の場合には、コラプスで得られるガラス体は、プリフォーム中間体とするので、該中間体のコア(外径 $2a$)とクラッド(外径 $2D$)の径比($2a/2D$)は設計値より大きく、ジャケット付けにより設計値とする。この方法によれば非円率の低い大型の母材が得られる。本発明の光ファイバを線引きする方法は公知の手段によればよいが、前記のように揺動線引きを行えばPMDが非常に良好な光ファイバとすることができる。

【0028】なお、本発明の方法において、ガラスロッドとガラスパイプのガラス組成については何ら限定されるところはなく、ガラスロッド及び/又はガラスパイプは屈折率分布を有するものであってもよい。これにより、複雑な屈折率プロファイルを有する光ファイバ母材、光ファイバが得られる。

【0029】また、本発明の方法はどのようなサイズのガラスロッドとガラスパイプの組合せのロッドインチューブ法においても有効である。ガラスパイプの外径が $45\text{mm}\phi$ を超えるような場合は、コラプスのための加熱量が多くなり、従来法でのコラプスではコアが変形しやすいが、本発明を適用することにより偏心、コアの変形を抑えることができ、大幅に非円率を低下できるので、非常に大きな効果が得られる。なお、このように太径のガラスパイプのコラプスは、横型配置では加熱部が弓なりに変形してしまうので、縦形の配置とすることがより好ましい。

【0030】また、例えばガラスパイプが純 SiO_2 でガラスロッドが F-SiO_2 又は $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ の組合せのように、加工されるべきガラスパイプの粘性率が大きく、変形してはならないガラスロッドの粘性率が小さい場合には、従来の固定のない方法ではロッドの変形が極めて生じやすく、コア非円率が劣化し易い。このような場合にも本発明の方法を適用することが非常に効果的である。

【0031】

【実施例】以下、実施例により本発明を具体的に説明するが、本発明はこれらの実施例のみに限定されるものではない。

【0032】実施例1及び比較例

外径 $\phi 70\text{mm}$ で内径は表1に示すとおり $15.1\sim 22\text{mm}\phi$ のガラスパイプ(純 SiO_2 製)と、外径 $15\text{mm}\phi$ のガラスロッド(F 添加濃度 $0.9\text{mol}\%$ の SiO_2 製)を組み合わせ、表1に示すような条件でコラプスを行った。No. 1~12はいずれも図7(B)に示した調心治具と固定法、No. 13は図7(A)に示した調心治具と固定法とし、加熱源は電気炉とした。コラプス時のガラスの表面最高温度は 1550°C (パイロスコープで測定)、排気圧は 5kPa とした。表面温度が $1550\sim 1500^\circ\text{C}$ の範囲内にあるヒートゾーンの長さは 60mm であった。表1において固定有は本発明に従い両端又は片端を融着固定したものであり、No. 1, 3, 5~12が本発明の実施例、No. 2及び4は比較例である。得られたコラプス体のコア非円率を測定した。結果を表1に併せて示す。

【0033】

【表1】

番号	パイプ ロッド の向き	パイプ 内 径 (ϕ mm)	パイプと ロッドの 空隙(mm)	固定 の有無	回転数 (rpm)	コラプス の 方 向	コア非円率 の分布 (%)	気泡数 (個/100mm)
1	横	17	1.0	有	10	—	1.0 ~ 2.0	0
2	横	17	1.0	無	10	—	2.5 ~ 4.0	0
3	縦	17	1.0	有	10	下→上	0.05 ~ 0.5	0
4	縦	17	1.0	無	10	下→上	1.6 ~ 4.0	0
5	縦	17	1.0	有	10	上→下	1.0 ~ 2.0	0
6	縦	17	1.0	有	0	下→上	0.8 ~ 1.8	0
7	縦	20	2.5	有	10	下→上	0.2 ~ 0.9	0
8	縦	21	3.0	有	10	下→上	0.5 ~ 1.4	0
9	縦	22	3.5	有	10	下→上	0.7 ~ 1.7	0
10	縦	16	0.5	有	10	下→上	0.05 ~ 0.4	0
11	縦	15.2	0.1	有	10	下→上	0.05 ~ 0.3	0
12	縦	15.1	0.05	有	10	下→上	0.05 ~ 0.3	5
13	縦	17.0	1.0	有	10	下→上	1.0 ~ 2.0	0

ガラスパイプ: SiO₂製, 外径 ϕ 70 mm

ガラスロッド: 0.9mol% F添加SiO₂製, 外径 ϕ 15 mm

コラプス時ガラス表面温度: 1500℃, 排気圧: 5 kPa

No.1 ~ 12 は図7 (B) に示す構成、治具でコラプスした。

No.13 は図7 (A) に示す構成、治具でコラプスした。

【0034】表1の結果から明らかなように、少なくとも上端側で固定し、ガラスパイプ及びガラスロッドを回転させながら下から上方向にコラプスすることが、コアの非円率低減に有利である。また、コラプス開始前のガラスロッドとガラスパイプの間の空隙（クリアランス）は、0.1mm以上3mm以下が好結果を得られることがわかる。クリアランスが小さい程、コア非円率は低減するが、本発明者らの実験によれば0.1mm未満ではガラスロッドとガラスパイプの界面に空隙が残ったままコラプスされ、気泡が発生してしまい好ましくない。また、クリアランスが小さすぎると、ガラスロッド挿入時に、ガラスロッドがガラスパイプ内面に接触して傷を発生させてしまい易い。この傷も気泡発生の原因になり得る。一方、クリアランスが3mmを超えると、コア非円率が1.5%を超える。

【0035】実施例2

1) GeO₂が25mol%添加されたSiO₂からなり外径7mm ϕ のガラスロッド及びおおよそ純粋な石英からなる外径70mm ϕ 、内径8mm ϕ のガラスパイプを公知のVAD法を用いて作成した。ガラスパイプは気相エッチングにより内面を平滑化し、かつ内径を8mm ϕ とした。

2) 上記ガラスロッドを上記ガラスパイプに挿入し、上端側で図7 (B) の調心治具を介してガラスパイプに固定し、ガラス表面温度が1880℃、排気圧5kPa、回転数10rpmの条件で、電源は電気炉を用い、開始

端は下端からとしてコラプスし、直径69.8mm ϕ の光ファイバ母材中間体を得た。この中間体のコアの非円率を測定した結果、0.5%と良好であった。

3) 得られた該中間体の屈折率分布構造を測定した後、公知のVAD法により該中間体に対して外径が3.1倍の純SiO₂のジャケット層を形成し、光ファイバ母材（プリフォーム）とした。

4) 得られた光ファイバプリフォームを公知の揺動線引き法で線引きし、光ファイバとした。この光ファイバの特性を調べたところ、1550nmの波長で、PMD: 0.08ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 、伝送損失: 0.33dB/km、分散: -76ps/km/nm、分散スロープ: +0.10ps/km/nm²、A_{eff}: 16 μm^2 、 λ_c (2 σ): 770nm、直径20mm ϕ の曲げ損失: 0.01dB/mと、非常に良好であった。

【0036】実施例3

図10に示すように、GeO₂が最大部で15mol%添加された石英ガラスからなる中心部（直径7.2mm ϕ ）及びその外周がFが1.3mol%添加された石英ガラスからなる直径15mm ϕ のガラスロッドを作成した。このガラスロッドは中心部をガラスロッド、F添加部をガラスパイプとして本発明のコラプス法に従い準備した。なお、前記ロッドはVAD法により作成してもよく、例えば本願出願人等が既に特開2000-44624号として出願している選択的にフッ素を添加する方法によれば好適に作成できる。また、F添加部をガラスパ

イブとしてCVD法で GeO_2 を含有する中心部を内付けにより形成してもよい。別途、外径70mmφ、内径17mmφの純 SiO_2 製パイプを準備し、前記により得られたガラスロッドを挿入し、実施例2と同様に上端側を図7の(B)に示す調心治具で固定して下端側からコラプスした。コラプス条件は温度1860℃、排気圧4kPa、回転数10rpmであった。コラプス終了後、実施例2と同様に3.5倍の純 SiO_2 ジャケット層を形成して光ファイバ母材（プリフォーム）とした。得られた光ファイバプリフォームを公知の揺動線引き法で線引きし、光ファイバとした。この光ファイバの特性を調べたところ、1550nmの波長で、PMD: 0.05ps/√km, 伝送損失: 0.26dB/km, 分散: -49.4ps/km/nm, 分散スロープ: -0.08ps/km/nm², A_{eff} : 19μm², λ_c (2m): 790nm, 直径20mmφの曲げ損失: 0.3dB/m という分散・分散スロープ補償ファイバが得られていた。

【0037】実施例4

実施例2と同様に図11の(A)に示す構造の外径15mmのガラスロッドを準備した。また、図11の(B)に示すように、4.5mol%の GeO_2 が添加された SiO_2 からなり、内径17mmφ、外径20mmφの内層部、該内層部の外周に設けられた純 SiO_2 の外層部、という二層構造で外径80mmφであるガラスパイプを別途準備した。以上、本実施例では公知のVAD法によったが、この構造はOVD法により所望の屈折率分布を有するガラス体を合成した後、中心部を開孔してもよいし、CVD法により純石英製パイプに GeO_2 - SiO_2 組成のガラスを内付けする方法によってもよい。実施例2と同様にガラスロッドとガラスパイプを該ガラスパイプ上端側におい図7(B)に示す調心治具で固定してコラプスした。条件は表面温度1840℃、排気圧6kPa、回転数10rpmであった。これにより外径79.6mmφのプリフォーム中間体を得た。この中間体のコアの非円率は0.4%であった。コアの非円率の測定後、公知の揺動線引き法によりファイバ化した。得られた光ファイバの特性を測定したところ、1550nmの波長で、PMD: 0.07ps/√km, 伝送損失: 0.35dB/km, 分散: -102ps/km/nm, 分散スロープ: -1.0ps/km/nm², A_{eff} : 10μm², λ_c (2m): 1450nm, 20mmφの曲げ損失: 18dB/m という分散・分散スロープ補償ファイバが得られていた。

【0038】実施例5

フッ素(F)が1.5mol%添加された石英からなる外径5mmφのガラスロッドを準備した。また、実施例3と同様に、10mol%の GeO_2 が添加された SiO_2 からなり、内径7mmφ、外径12mmφの内層部、該内層部の外周に設けられた純 SiO_2 の外層部、という二層構造で外径100mmφであるガラスバ

イブを別途準備した。以上、本実施例では公知のVAD法によったが、この構造はOVD法により所望の屈折率分布を有するガラス体を合成した後、中心部を開孔してもよいし、CVD法により純石英製パイプに GeO_2 - SiO_2 組成のガラスを内付けする方法によってもよい。実施例2と同様にガラスロッドとガラスパイプを該ガラスパイプ上端側におい図7(B)に示す調心治具で固定してコラプスした。条件は表面温度1920℃、排気圧3kPa、回転数10rpmであった。これにより外径99.6mmφのプリフォーム中間体を得た。この中間体のコアの非円率は0.6%であった。非円率検査後、公知の揺動線引き法により線引きして、ファイバ化した。得られた光ファイバの特性を測定したところ、1550nmの波長で、PMD: 0.10ps/√km, 伝送損失: 0.23dB/km, 分散: -2.5ps/km/nm, 分散スロープ: +0.07ps/km/nm², A_{eff} : 80μm², λ_c (2m): 1100nm, 20mmφの曲げ損失: 2dB/m という図12の(B)に示すようなリングコア型分散シフトファイバを得た。

【0039】上記各実施例ではガラスロッド及びガラスパイプの各々の製法としてVAD法による例又はVAD法とロッドインコラプス法を組み合わせた例を挙げたが、同様のものをOVD法やゾルゲル法で作成しても、上記の実施例と同様に効果を得られる。

【0040】

【発明の効果】以上説明のとおり、本発明によれば、コアの偏心、変形が少なく、非常に真円に近い（非円率が低く良好である）、光ファイバ母材及び光ファイバを得ることができる。また、ガラスロッド、ガラスパイプのそれぞれに屈折率分布を有するものを用いることにより、複雑なプロファイルを持つ光ファイバ母材をコア非円率良好に製造できる。そして、光ファイバ母材のコア非円率が低いのでファイバ化すると、PMDが低い光ファイバが得られる。このようにPMDが低い光ファイバは伝送信号が乱れず、非常に有利である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施態様を示す概略説明図である。

【図2】 本発明の調心治具の一実施態様を示す斜視図である。

【図3】 本発明の他の実施態様を示す概略説明図である。

【図4】 本発明のロッドインコラプス工程の実施態様を示す概略説明図である。

【図5】 本発明の固定を行わない場合の問題点を示す概略説明図である。

【図6】 本発明の更に他の実施態様を示す概略説明図である。

【図7】 本発明の更に他の実施態様を示す概略説明図である。

【図8】 本発明に係る調心治具の他の実施態様を示す概略説明図である。

【図9】 本発明の更に他の実施態様を示す概略説明図である。

【図10】 本発明の実施例3で用いたコアロッドの屈折率構造を示す図である。

【図11】 本発明の実施例4で用いたコアロッドの屈折率構造を示す図である。

【図12】 本発明の実施例5で用いたコアロッドの屈折率構造を示す図である。

【図13】 光ファイバのコア非円率とPDMの関係を示す図である。

【図14】 図13の各光ファイバの屈折率構造を示す図である。

【図15】 従来法（縦型配置）を概略説明する図である。

【図16】 従来法（横型配置）を概略説明する図である。

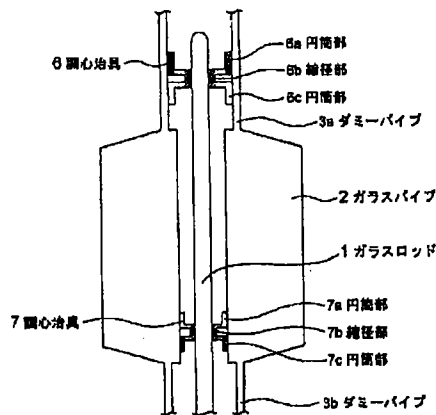
る。

【図17】 コアロッドとガラスパイプの中心軸が不一致の場合に偏心して非円率が高くなることを説明する図である。

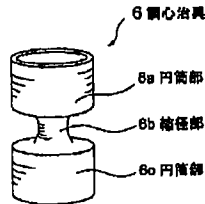
【符号の説明】

1 ガラスロッド、 2 ガラスパイプ、 3、3a及び3b ダミーパイプ、 4 ダミー棒、 5a及び5b ダミーパイプの縮径部、 6 調心治具、 6a及び6c 円筒部、 6b 縮径部、 7 調心治具、 7a及び7c 円筒部、 7b 縮径部、 8 支持棒、 9及び10 熱源、 11 調心治具、 11a、11c及び11d 円筒部、 11b、縮径部（固定部）、11b、縮径部（調心部）、 12 調心治具、 13 調心治具、 13a及び13c 円筒部、 13b 縮径部、 14 調心治具。

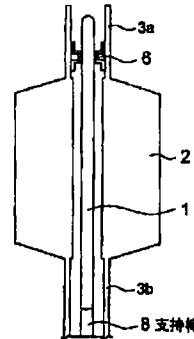
【図1】



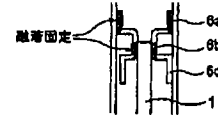
【図2】



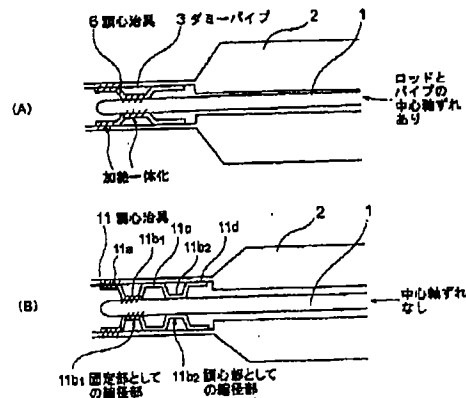
【図3】



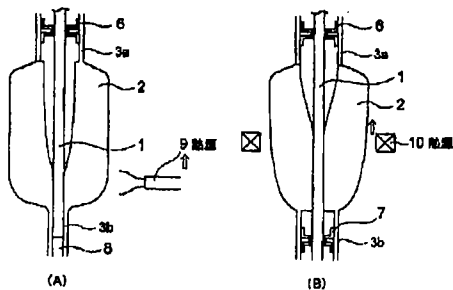
【図6】



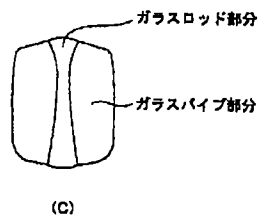
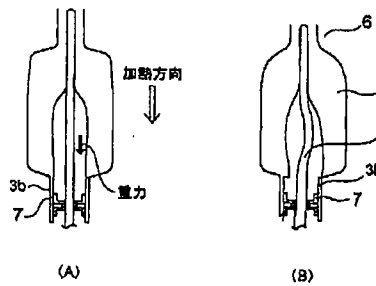
【図7】



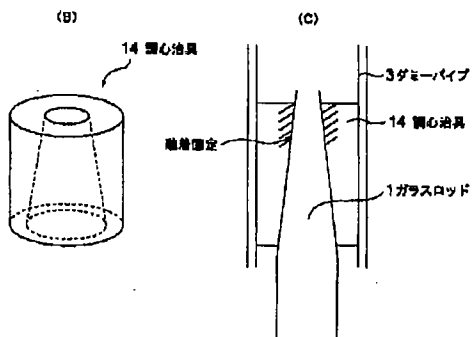
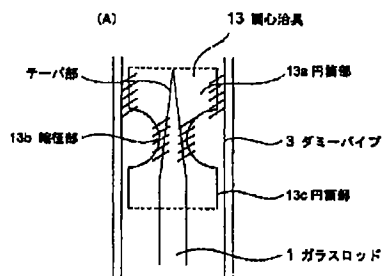
【図4】



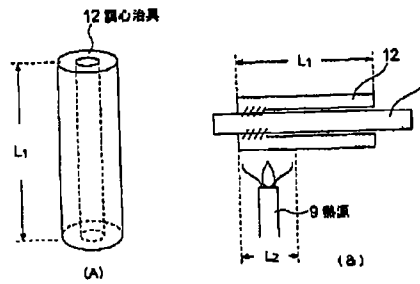
【図5】



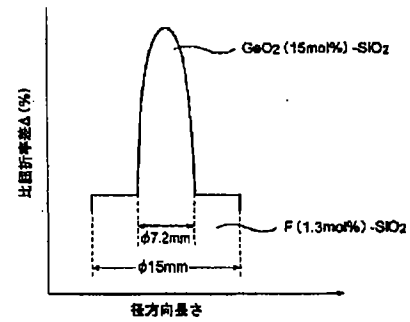
【図9】



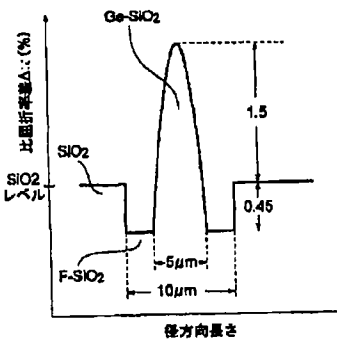
【図8】



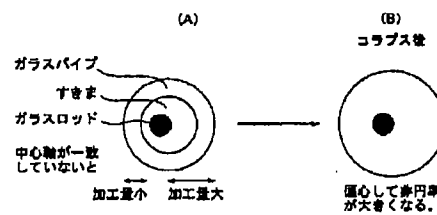
【図10】



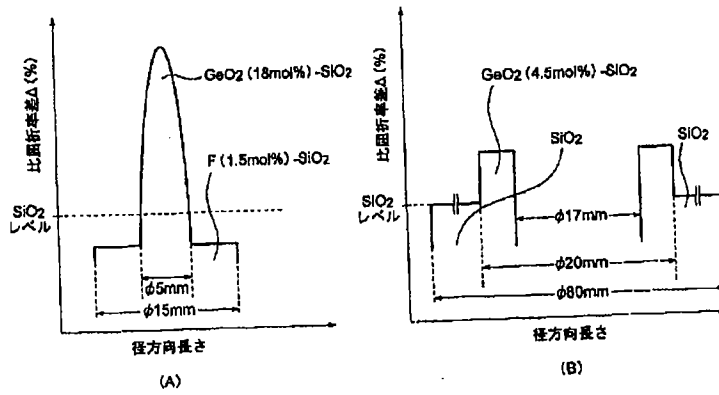
【図14】



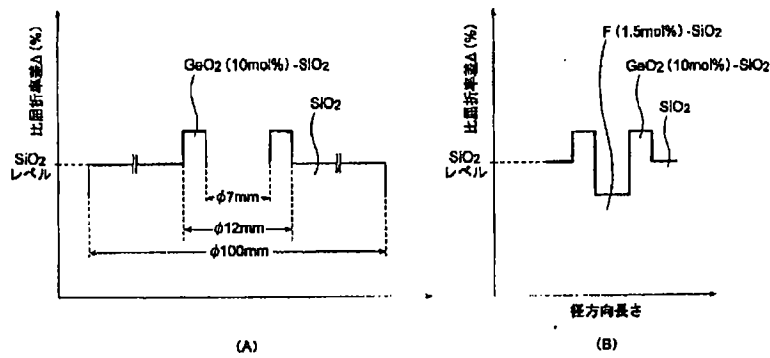
【図17】



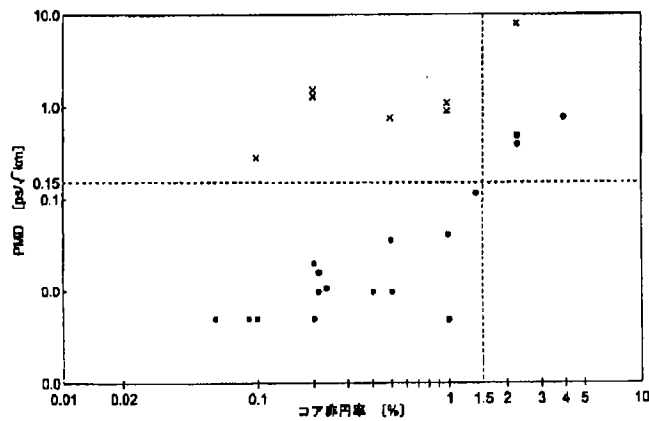
【図11】



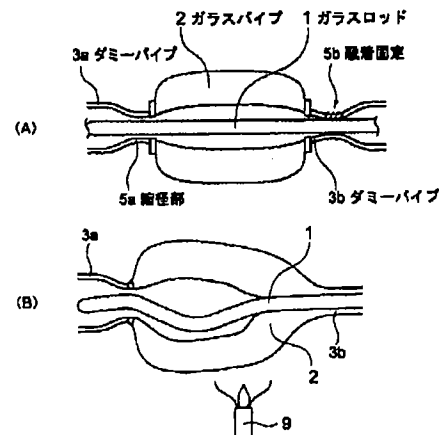
【図12】



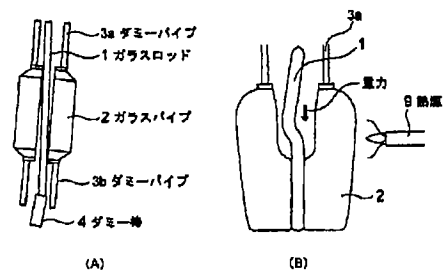
【図13】



【図16】



【図15】



フロントページの続き

(72)発明者 井尻 英幸

神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 4G021 BA04